

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПУСКУ ТА РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНА (ДК-409) КОМПРЕСОРА (ЭК-7Б) ПРИ НОМІНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРАХ НА НАГРІВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ЯКОРЯ

*Представив д.т.н., професор Дубинець Л.В..*

Умови експлуатації допоміжних електричних машин рухомого складу дуже складні, а дослідження роботи електродвигуна компресора в різних експлуатаційних режимах є досить актуальним, оскільки, як показує статистика виходу з ладу електродвигунів компресорів електропоїздів ЕР-1, ЕР-2 в Дніпропетровському локомотивному депо, за один рік експлуатації за причиною пробою ізоляції якоря і обмотки полюсів бракується від 12 до 56 електродвигунів компресорів, які повинні безвідмовно працювати протягом 10 років (від капремонту до капремонту). Причому електричні пошкодження (прогар обмотки якоря та обмотки головного полюса) складають їх основний обсяг. Причиною цьому є нечітка та ненадійна робота системи захисту електродвигуна компресора від перегріву та перевантажень [1].

У нашому випадку нас цікавить процес пуску електродвигуна та робота в усталеному режимі при номінальних параметрах.

При експлуатації електропоїздів постійного струму можливі наступні режими пуску ЕД компресора: пуск при відсутності стисненого повітря у гальмівній магістралі; пуск при певному тиску у гальмівній магістралі; пуск при підвищеному та зниженому значеннях напруги у контактній мережі; пуск при початковому перегріві даної частини машини  $\tau_0 = 0$  та пуск при  $\tau_0 > 0$  (при кожному з цих варіантів необхідно враховувати температуру навколишнього середовища).

За допомогою математичної моделі, що описує теплові процеси, які протікають у електродвигуні компресора ДК-409, та значень пускових струмів, що отримані з допомогою моделювання процесів пуску (рис. 1), можливо отримати значення перегрівів при різних умовах пуску та подальшої роботи електродвигуна компресора [2].

Теплову модель створено за допомогою еквівалентної теплової схеми заміщення якоря електродвигуна ДК-409 [3] (рис. 2).

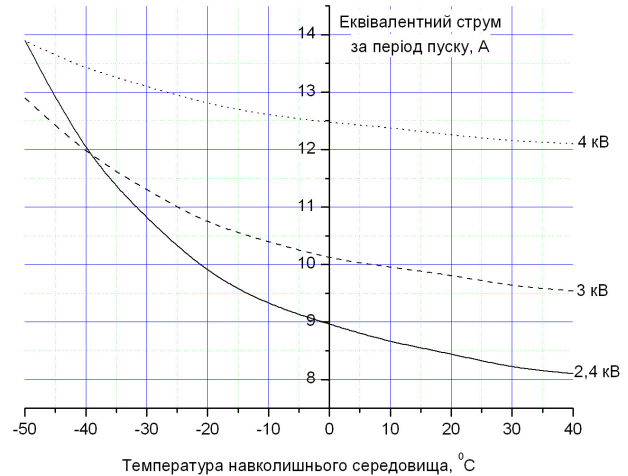


Рис. 1. Значення еквівалентних пускових струмів електродвигуна ДК-409 при різній температурі навколишнього середовища та різних значеннях напруги у контактній мережі

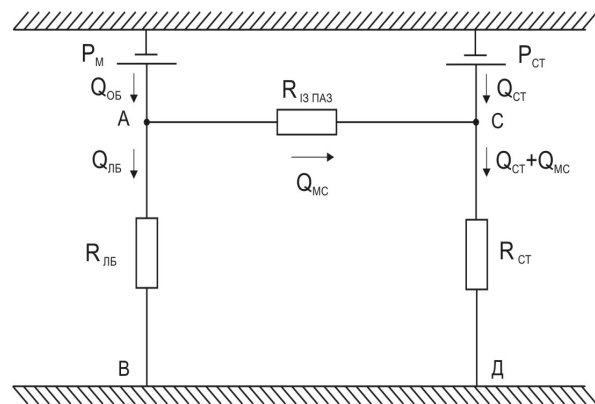


Рис. 2. Еквівалентна теплова схема якоря електродвигуна ДК-409

На базі теплової схеми заміщення отримано систему рівнянь (1), що описують теплові процеси у двигуні.

$$\begin{cases} Q_{обм} = Q_{лб} + Q_{мс} \\ \tau_{обм} = Q_{лб} \cdot R_{лб} \\ \tau_{ст} = (Q_{ст} + Q_{мс}) \cdot R_{ст} \\ Q_{лб} \cdot R_{лб} = Q_{мс} \cdot R_{ізпаз} + (Q_{ст} + Q_{мс}) \cdot R_{ст} \end{cases} \quad (1)$$

де  $Q_{обм}$  – тепловий потік обмотки якоря, Вт;  
 $Q_{лб}$  – тепловий потік, що передається повітрю,

яке охолоджує, через тепловіддаючі поверхні лобових з'єднань обмотки, Вт;  $Q_{мс}$  – тепловий потік, що переходить із міді обмотки через пазову ізоляцію з опором  $R_{ізпаз}$  у сталь осердя якоря, Вт;  $\tau_{обм}$  – перепад температури міді обмотки над температурою охолоджуючого повітря, °С;  $R_{лб}$  – тепловий опір обмотки якоря, °С/Вт;  $\tau_{ст}$  – перевищення температури сталі осердя над температурою охолоджуючого повітря, °С;  $Q_{ст}$  – тепловий потік сталі якоря, Вт;  $R_{ст}$  – загальний опір тепловому потоку, який віддається сталевому осердю якоря, °С/Вт;  $R_{ізпаз}$  – тепловий опір ізоляції паза якоря, °С/Вт.

У системі (1) маємо чотири невідомих:  $Q_{лб}$ ,  $Q_{мс}$ ,  $\tau_{обм}$ ,  $\tau_{ст}$ . Розв'язок цієї системи дозволяє знайти значення перевищення температури  $\tau_{обм}$  та  $\tau_{ст}$ .

Величину перегріву необхідної частини електричної машини за відомий проміжок часу, наприклад в режимі пуску, можливо визначити за формулою [4]:

$$\tau_t = \tau_{кн} \cdot \left( 1 - e^{-\left(\frac{t}{T_я}\right)} \right) + \tau_0 \cdot e^{-\left(\frac{t}{T_я}\right)}, \quad (2)$$

де  $\tau_{кн}$  – кінцевий перегрів даної частини машини, °С;  $T_я$  – постійна часу нагрівання якоря двигуна, хв.;  $t$  – час перехідного процесу, хв.;  $\tau_0$  – початковий перегрів даної частини машини, °С.

Під номінальними параметрами будемо вважати струм електродвигуна компресора  $I_{ном} = 4,65$  А, напругу компресора електродвигуна  $U_{ном} = 1500$  В (напруга в контактній мережі теж має номінальне значення і дорівнює 3 кВ), тривалість включення  $TВ = 50\%$  при тривалості циклу  $t_{ц} = 10$  хвилин – згідно з паспортними даними ЕД компресора, а час роботи  $t_p$  дорівнює часу паузи  $t_n$  і складає 300 с, значення еквівалентного струму під час пуску при 20 °С складає 9,62 А.

Пуск буде досліджуватись при порожній напірній магістралі. Використовуючи математичну модель теплових процесів електродвигуна компресора ДК-409 побудуємо діаграму нагрівання та охолодження його ізоляції якоря (рис. 3).

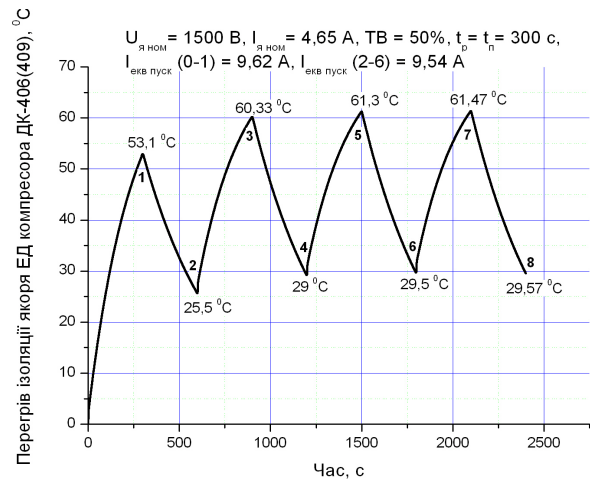


Рис. 3. Діаграма нагрівання ізоляції якоря електродвигуна ДК-409 при роботі у повторно-короткочасному режимі з  $TВ=50\%$  з номінальними параметрами при тиску у напірній магістралі 0 атм. під час пуску та роботи в усталеному режимі

Представлена діаграма є ідеальною розрахунковою кривою, згідно якої повинні протікати теплові процеси у двигуні компресора. При першому пуску електродвигуна компресора, що триває 1,2 с значення еквівалентного пускового струму дорівнює 9,62 А, потім електродвигун працює 298,8 с при усталеному значенні струму 4,65 А. За цей період (ділянка 0-1 рис. 3) перегрів ізоляції якоря складе 53,1 °С, тобто температура ізоляції при температурі навколишнього середовища 20 °С складе 73,1 °С. Після цього компресор відключається від живлячої мережі за допомогою реле тиску і починається пауза, що буде тривати теж 300 с (ділянка 1-2 рис. 2). за час цієї паузи перегрів двигуна зменшиться до 25,5 °С (температура ізоляції 45,5 °С).

Ділянка 2-3 на діаграмі показує, що пуск електродвигуна компресора триває 1,2 с при значенні струму в колі якоря 9,54 А (еквівалентний струм під час пуску при температурі навколишнього середовища 30 °С), після чого триває робота електродвигуна протягом 298,8 с при номінальному струмі у колі якоря 4,65 А, при цьому, перегрів ізоляції сягає значення 60,33 °С.

По аналогії відбуваються процеси пуску та зупинки електродвигуна компресора під час яких перегрів ізоляції якоря буде постійно зростати і лише під час четвертого пуску електродвигуна компресора (ділянка 6-7 діаграми рис.2) інтенсивність наростання перегріву знизиться. Різниця між точкою 5 та 7 складає:

$$\frac{61,47 - 61,3}{61,47} \times 100 = 0,3\% .$$

Тобто, максимальний перегрів ізоляції якоря у даному режимі складає 61,47°C, а мінімальний перегрів складає 29,57°C.

Таким чином, при температурі навколишнього середовища 20°C та під час пуску і роботи при номінальних параметрах двигуна-компресора, реальна максимальна температура ізоляції якоря буде складати 81,47°C, а мінімальна 49,57°C. Тобто, якщо температура навколишнього середовища при даному режимі роботи сягне 40°C, то температура ізоляції якоря не перевищить значення максимально допустимої в 120°C [4] і складе 101,47°C.

Як показали експериментальні дослідження роботи електродвигуна компресора, його реальний режим роботи дещо відрізняється від розрахункового. Отже, вплив зміни його режиму роботи на нагрівання ізоляції якоря в реальних умовах експлуатації буде дещо іншим і може перевищувати отримані значення перегріву. Тому вплив режимів роботи двигуна на перегрів ізоляції при неномінальних режимах роботи буде проведено в подальших дослідженнях.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дубинець Л. В. Вплив умов експлуатації на надійність двигунів компресорів електропоїздів постійного струму [Текст] / Л. В. Дубинець, Р. В. Краснов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. –

Вип. 18. – Д.: Вид-во Дніпропетр.нац.ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2007. – С. 29-31.

2. Краснов Р. В. Моделювання процесу пуску електропривода поршневого компресора (ЕК-7Б) з двигуном ДК-409 електропоїзда ЕР2 [Текст] / Р. В.Краснов, Д. В. Устименко, А. В. Шаповалов // Збірник статей Харківської національної академії міського господарства. – Вип. 97, 2011. – С. 251-256.

3. Находкин М. Д. Проектирование тяговых электрических машин [Текст] / М. Д. Находкин, Г. В. Василенко, В. И. Бочаров, // Под ред. М. Д. Находкина. Учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.

4. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу. / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак // – Д.: вид-во Д. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.

**Ключові слова:** електрорухомий склад, допоміжні електричні машини, електродвигун компресора.

**Ключевые слова:** электроподвижной состав, вспомогательные электрические машины, электродвигатель компрессора.

**Keywords:** electric rolling stock, auxiliary electrical machines, compressor electric motor.